

## ПРИКЛАДНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.87; 681.5

А.Г. Стрижнев

СПОСОБ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДЪЕМА  
И ГОРИЗОНТИРОВАНИЯ ОПОРНОЙ ПЛАТФОРМЫ

*Описывается способ автоматического подъема и горизонтирования опорной платформы. Определяется состав элементов, необходимый для реализации системы в соответствии с предложенным способом. Система обеспечивает подъем и горизонтирование в четыре этапа, в процессе которых происходит определение ее возможностей, оценка состояния грунта, контроль и коррекция текущего состояния опорной платформы с выдачей параметров контроля на пульт управления. Способ можно использовать не только в статических, но и динамических системах горизонтирования типа активной подвески. Для реализации управления требуется определение динамических свойств опорных агрегатов по усилию и положению. Для исключения опасных перекосов платформы при ее подъеме осуществляется синхронизация движения опор. Даются рекомендации по реализации системы и экспериментальному определению параметров пространственной модели опорной платформы.*

**Введение**

Различные колесные и гусеничные машины содержат опорные платформы с расположенным на них оборудованием (подъемными кранами, бурильными установками, системами оптического наблюдения, радиолокационными станциями, пусковыми ракетными установками и др.), которые требуют применения систем подъема и горизонтирования (СПГ). Подъем опорной платформы обеспечивает разгрузку элементов ходовой части (рессор, осей, колес), а горизонтирование необходимо для качественной работы специального оборудования. Обычно эти задачи решают с помощью гидравлических опор, но при небольшой массе опорной платформы могут использоваться и электромеханические опоры [1].

Независимо от типа опор горизонтирование платформы можно осуществить только при наличии трех и более (обычно четырех) опорных агрегатов [2, 3]. При этом обязательным элементом любой СПГ является двухкоординатный (крена и тангажа) датчик наклона, а иногда и измеритель высоты подъема опорной платформы над поверхностью земли. Для снижения влияния скорости перемещения опор на работу датчиков их обычно устанавливают вблизи центра массы. При больших размерах и низкой жесткости платформы происходит ее «скручивание» и тогда используют два двухкоординатных датчика наклона, разнесенных по продольной оси. В некоторых случаях применяют два однокоординатных датчика наклона, которые устанавливают по диагонали платформы [3].

Существует большое разнообразие методов и способов подъема и горизонтирования [1–5] опорных платформ различного назначения, однако сложность конструкции и отсутствие единого подхода ограничивают их применение. В связи с этим возникла необходимость разработки нового способа автоматического подъема и горизонтирования опорной платформы.

**1. Общие сведения о способе автоматического подъема и горизонтирования**

Предлагаемый способ автоматического подъема и горизонтирования позволяет решить задачи определения возможности подъема и горизонтирования; оценки проседания грунта; подъема, горизонтирования, контроля и коррекции текущего состояния опорной платформы; выдачи параметров контроля на пульт управления; аварийной защиты элементов системы. С учетом выполняемых задач согласно предлагаемому способу автоматическая СПГ должна содержать необходимый состав оборудования; иметь запас хода опор, достаточный для подъема платформы на заданную высоту и обеспечения требуемого диапазона углов наклона платформы по крену и тангажу; иметь опорные и базовые поверхности, исключающие ухудшение точности горизонтирования платформы в процессе работы специального оборудования, а также выполнять различные диагностические и защитные функции элементов системы.

При использовании четырех гидравлических опор согласно способу автоматическая СПГ, отвечающая требованиям по назначению, должна содержать необходимый набор элементов и соответствовать структурной схеме, изображенной на рис. 1.

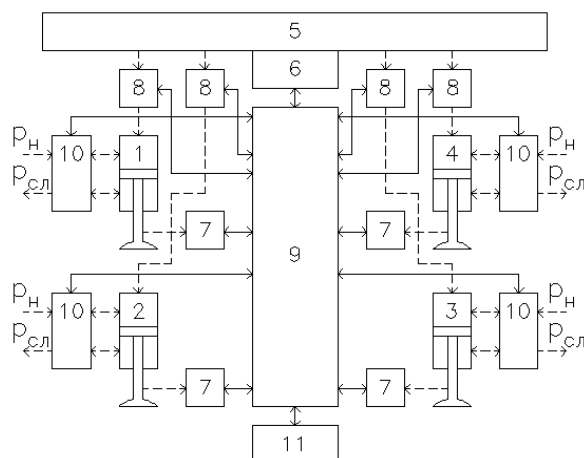


Рис. 1. Структурная схема автоматической СПГ

В состав системы (рис. 1) входят гидравлические опоры 1–4, присоединенные к опорной платформе 5. На платформе расположен двухкоординатный датчик наклона 6, измерительные оси которого параллельны продольной и поперечной осям платформы 5. Каждый из гидроцилиндров опор 1–4 оборудован датчиком положения штока 7 и датчиком усилия 8, приложенного к гидроцилиндру. Датчики 6–8 своими выходами соединены с информационными входами блока управления (БУ) 9, входящего в состав системы управления. Управляющими выходами БУ связан с четырехсекционным электрогидрораспределителем 10, выходы которого подключены к гидроцилиндрам опор 1–4. Включение и отключение системы осуществляется с пульта управления 11, выход которого является управляющим входом БУ. Следует заметить, что вместо датчиков усилия 8 можно использовать датчики давления, устанавливаемые в поршневой полости гидроцилиндров.

При реализации автоматической СПГ предлагаемым способом нужно использовать параметры пространственной модели опорной платформы.

## 2. Пространственная модель опорной платформы

Рассмотрим пространственную модель опорной платформы [4] (рис. 2). Она включает в себя продольную  $L$  и поперечную  $Q$  оси, пересекающиеся в центре масс (ЦМ), который в общем случае находится выше или ниже плоскости крепления гидроцилиндров опор 1–4 (опорной плоскости). Гидроцилиндры опор 1–4 удалены от поперечной оси  $Q$  на расстояния  $a$  и  $a_1$ , а от продольной оси  $L$  – на  $b$  и  $b_1$ . С изменением загруженности платформы положение ЦМ изменяется, и поэтому эти расстояния должны быть определены как можно точнее, например, путем измерения опорных усилий  $p_1 - p_4$  в статическом и динамическом положениях для соответствующего состояния загруженности.

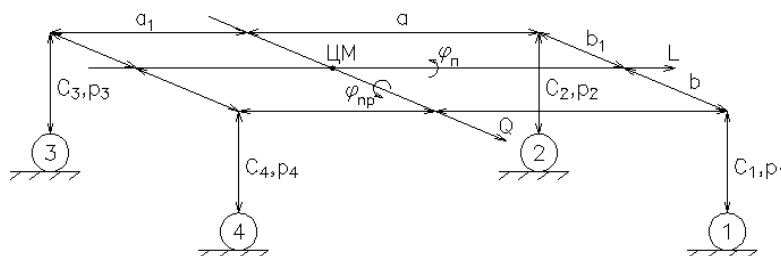


Рис. 2. Пространственная модель опорной платформы: 1–4 – опоры;  $c_i, p_i$  – ординаты, усилия опор;  $L, Q$  – продольная, поперечная оси;  $\varphi_{пр}, \varphi_n$  – продольный и поперечный углы наклона

Текущие длины выдвижения штоков из гидроцилиндров опор характеризуются ординатами  $c_1 - c_4$ , исчисляемыми от плоскости крепления гидроцилиндров опор до нижней поверхности подпятников, находящихся на поверхности земли, которая в общем случае не является горизонтальной.

Угловое положение плоскости шасси характеризуется продольным  $\varphi_{пр}$  и поперечным  $\varphi_{п}$  углами наклона осей  $L$  и  $Q$  платформы относительно горизонта. При этом положительные углы  $\varphi_{пр}$  и  $\varphi_{п}$  образуются при подъеме передней и правой боковой сторон платформы соответственно.

### 3. Реализация способа автоматического подъема и горизонтирования

Реализацию способа рассмотрим с использованием структурной схемы автоматической СПГ (см. рис. 1) и пространственной модели опорной платформы (см. рис. 2). При работе СПГ в отличие от аналогичных [1–5] определяются необходимые параметры горизонтирования и запретные сигналы. В процессе функционирования СПГ последовательно выполняются следующие практические операции.

Включение в работу автоматической СПГ осуществляется оператором путем перевода тумблера на пульте управления 11 в положение включения, после чего подается питание на все элементы системы. В дальнейшем блок БУ все манипуляции с гидроцилиндрами опор 1–4 выполняет поэтапно в автоматическом режиме.

*Этап 1.* Производится оценка данных датчика наклона 6 (см. рис. 1) и принятие решения о возможности работы системы в автоматическом режиме. При наклонах осей платформы, не позволяющих осуществить работу системы, БУ формирует сигнал «Запрет 1», который выдается на пульт 11, и дальнейшие подъем и горизонтирование платформы не выполняются.

Условием работы системы в автоматическом режиме (см. рис. 2) является непревышение текущих углов  $\varphi_{пр.1}$ ,  $\varphi_{п.1}$  расчетных значений:

$$|\varphi_{пр.1}| \leq \arcsin \frac{h_0 - h_3 - h_T - h_{п} - h_p}{A}; \quad |\varphi_{п.1}| \leq \arcsin \frac{h_0 - h_3 - h_T - h_{п} - h_p}{B},$$

где  $\varphi_{пр.1}$ ,  $\varphi_{п.1}$  – углы наклона опорной платформы, измеренные на этапе 1;  $A$ ,  $B$  – базовые расстояния между опорами ( $A = a + a_1$ ,  $B = b + b_1$ );  $h_0$  – полный ход штока гидроцилиндра опоры;  $h_3$  – ход опоры до поверхности земли;  $h_T$  – запас хода на глубину проседания грунта;  $h_{п}$  – требуемая высота подъема опорной платформы над поверхностью земли;  $h_p$  – запас хода для проведения точного горизонтирования.

Следует заметить, что величины  $A, B$ ,  $h_0, h_3, h_T, h_{п}, h_p$  заранее определены, а текущие значения углов  $\varphi_{пр.1}, \varphi_{п.1}$  измеряются двухкоординатным датчиком наклона. Так, например, для значений  $A = 5300$  мм,  $B = 4870$  мм,  $h_0 = 1100$  мм,  $h_3 = 150$  мм,  $h_T = 100$  мм,  $h_{п} = 160$  мм,  $h_p = 100$  мм определены условия  $|\varphi_{пр.1}| \leq 6,392^\circ$ ,  $|\varphi_{п.1}| \leq 6,959^\circ$ .

*Этап 2.* Если сигнал «Запрет 1» не сформирован, выполняется выдвижение штоков из гидроцилиндров опор 1–4 (см. рис. 1) и создаются начальные (расчетные) давления на грунт (недостаточные для подъема платформы), которые контролируются датчиками усилия 8. После обработки данных с датчика наклона 6 и датчиков положения штоков 7 гидравлических опор оценивается проседание грунта и определяются возможности СПГ. При проседании грунта и выдвижении штоков из гидроцилиндров опор 1–4 на величину, не позволяющую осуществить дальнейшую работу системы, БУ формирует сигнал «Запрет 2», который выдается на пульт 11, и подъем и горизонтирование платформы не выполняются. Условием проведения подъема и горизонтирования после создания начальных усилий  $p_1 \approx p_2 \approx p_3 \approx p_4 = p_0$  (см. рис. 2) является непревышение текущих значений ординат  $c_{i,2} \leq h_3 + h_T$  и углов наклона  $\varphi_{пр.2}$ ,  $\varphi_{п.2}$ , при ко-

торых реализуются возможности пространственной модели:  $|\varphi_{\text{пр.2}}| \leq \arcsin \frac{h_0 - h_{\text{п}} - h_{\text{р}} - c_{i,2}}{A}$ ,  $|\varphi_{\text{п.2}}| \leq \arcsin \frac{h_0 - h_{\text{п}} - h_{\text{р}} - c_{i,2}}{B}$ . В двойном индексе при ординате  $i$  означает номер опор, вторая цифра – номер этапа (1–4). Для расчета нужно использовать большее из четырех возможных значений  $c_{i,2}$ , измеренных в конце этапа 2 работы. При проседании грунта больше ожидаемого ( $c_{i,2} \geq h_3 + h_{\text{т}}$ ) возможности СПГ снижаются. Например, если  $c_{i,2} = 300$  мм, то предельные значения углов должны удовлетворять другим условиям:  $|\varphi_{\text{пр.2}}| \leq 6,065^\circ$ ,  $|\varphi_{\text{п.2}}| \leq 6,603^\circ$ . Следует заметить, что предельные значения координат ( $c_{i,2}, \varphi_{\text{пр.2}}, \varphi_{\text{п.2}}$ ), при которых горизонтирование невозможно, могут быть установлены заранее.

**Этап 3.** Если сигнал «Запрет 2» не сформирован, осуществляется выдвижение штоков гидроцилиндров опор 1–4 (см. рис. 1) на высоту разгрузки элементов ходовой части и одновременно выполняется горизонтирование платформы. Для исключения опасных перекосов платформы при подъеме используется синхронизация движения опор. Проводится оценка проседания грунта, при невозможности точного горизонтирования БУ формирует сигнал «Запрет 3», и работа системы прекращается.

При работе системы (см. рис. 2) используются данные ( $\varphi_{\text{пр.2}}, \varphi_{\text{п.2}}, c_{i,2}$ ), полученные на этапе 2 работы, по которым рассчитываются и запоминаются отклонения продольного и поперечного углов наклона платформы от требуемых значений:  $\Delta\varphi_{\text{пр.3}} = \varphi_{\text{пр.2}} - \varphi_{\text{пр.тр}}$ ,  $\Delta\varphi_{\text{п.3}} = \varphi_{\text{п.2}} - \varphi_{\text{п.тр}}$ . При этом измеренные на этапе 2 значения углов  $\varphi_{\text{пр.2}}, \varphi_{\text{п.2}}$  не должны превышать требуемых значений наклона платформы  $\varphi_{\text{пр.тр}}, \varphi_{\text{п.тр}}$ , которые задаются оператором. Затем определяются приращения ординат  $\Delta g_{1,3} = |A \sin \Delta\varphi_{\text{пр.3}}|$ ,  $\Delta g_{2,3} = |B \sin \Delta\varphi_{\text{п.3}}|$  и формируются задания  $q_{i,3} = c_{i,2} + h_{\text{п}} + k_1 \Delta g_{1,3} + k_2 \Delta g_{2,3}$  для гидроцилиндров опор 1–4. Здесь приняты следующие обозначения:  $h_{\text{п}}$  – требуемая высота подъема платформы;  $k_1, k_2$  – коэффициенты, которые могут принимать значения «ноль» или «единица». Для определения коэффициентов была составлена таблица.

Зависимость значений коэффициентов задания от величины отклонений углов наклона

| Параметр                           |          | Номер опор |         |         |         | Параметр                          |          | Номер опор |         |         |         |
|------------------------------------|----------|------------|---------|---------|---------|-----------------------------------|----------|------------|---------|---------|---------|
| Условия                            | Коэффиц. | $i = 1$    | $i = 2$ | $i = 3$ | $i = 4$ | Условия                           | Коэффиц. | $i = 1$    | $i = 2$ | $i = 3$ | $i = 4$ |
| $\Delta\varphi_{\text{пр}} \geq 0$ | $k_1$    | 0          | 0       | 1       | 1       | $\Delta\varphi_{\text{п}} \geq 0$ | $k_2$    | 0          | 1       | 1       | 0       |
| $\Delta\varphi_{\text{пр}} < 0$    |          | 1          | 1       | 0       | 0       | $\Delta\varphi_{\text{п}} < 0$    |          | 1          | 0       | 0       | 1       |

При отсутствии наклона платформы ( $\Delta\varphi_{\text{пр.3}} = 0^\circ$ ,  $\Delta\varphi_{\text{п.3}} = 0^\circ$ ,  $c_{i,2} = h_3 + h_{\text{т}} = 250$  мм,  $h_{\text{п}} = 160$  мм) получим задания в виде  $q_{i,3} = c_{i,2} + h_{\text{п}} = 410$  мм, при наклоне платформы ( $\Delta\varphi_{\text{пр.3}} = 1^\circ$ ,  $\Delta\varphi_{\text{п.3}} = 0^\circ$ ,  $A = 5300$  мм,  $B = 4870$  мм,  $\Delta g_{1,3} = |A \sin 1^\circ| = 92,498$  мм,  $\Delta g_{2,3} = |B \sin 0^\circ| = 0$  мм,  $c_{i,2} = h_3 + h_{\text{т}} = 250$  мм,  $h_{\text{п}} = 160$  мм) – в виде  $q_{1,3} = c_{1,2} + h_{\text{п}} = 410$  мм,  $q_{2,3} = c_{2,2} + h_{\text{п}} = 410$  мм,  $q_{3,3} = c_{3,2} + h_{\text{п}} + k_1 \Delta g_{1,3} = 502,498$  мм,  $q_{4,3} = c_{4,2} + h_{\text{п}} + k_1 \Delta g_{1,3} = 502,498$  мм.

Если из-за проседания грунта или «сползания» опор горизонтирование окажется неточным, потребуются дополнительное подгоризонтирование платформы, которое реализуется на этапе 4 работы.

**Этап 4.** Если сигнал «Запрет 3» не сформирован, а точность горизонтирования ниже заданного значения, осуществляется выдвижение штоков из гидроцилиндров опор 1–4 (см. рис. 1) и точное подгоризонтирование. Данный этап может повторяться несколько раз [3] до получения требуемой точности горизонтирования. БУ постоянно анализирует данные, поступающие с датчиков 6–8, и определяет состояние каждой из четырех опор. При возникновении аварийной ситуации БУ формирует сигнал «Запрет 4» и работа системы и специального оборудования прекращается.

Для подгоризонтирования опорной платформы (см. рис. 2) используются данные ( $\varphi_{пр.3}$ ,  $\varphi_{п.3}$ ,  $c_{i.3}$ ), измеренные в конце этапа 3. Затем рассчитываются и запоминаются отклонения продольного и поперечного углов наклона платформы  $\Delta\varphi_{пр.4} = \varphi_{пр.3} - \varphi_{пр.тр}$ ,  $\Delta\varphi_{п.4} = \varphi_{п.3} - \varphi_{п.тр}$  и приращения ординат  $\Delta g_{1.4} = |A \sin \Delta\varphi_{пр.4}|$ ,  $\Delta g_{2.4} = |B \sin \Delta\varphi_{п.4}|$ . С помощью таблицы формируются новые задания  $q_{i.4} = c_{i.3} + k_1 \Delta g_{1.4} + k_2 \Delta g_{2.4}$  для гидроцилиндров опор 1–4.

При наклоне платформы ( $\Delta\varphi_{пр.4} = 0,1^\circ$ ,  $\Delta\varphi_{п.4} = 0^\circ$ ,  $A = 5300$  мм,  $B = 4870$  мм,  $\Delta g_{1.4} = |A \sin 0,1^\circ| = 9,250$  мм,  $\Delta g_{2.4} = |B \sin 0^\circ| = 0$  мм,  $c_{i.3} = h_3 + h_t + h_n = 410$  мм) получим задания в виде  $q_{1.4} = c_{1.3} = 410$  мм,  $q_{2.4} = c_{2.3} = 410$  мм,  $q_{3.4} = c_{3.3} + k_1 \Delta g_{1.3} = 419,250$  мм,  $q_{4.4} = c_{4.3} + k_1 \Delta g_{1.3} = 419,250$  мм.

Следует заметить, что при мягком грунте возможно проседание и(или) «сползание» опор и этап 4 нужно повторять несколько раз, пока горизонтирование платформы не достигнет требуемой точности или будет наблюдаться постоянство отклонений продольного  $\Delta\varphi_{пр.4+j} = \varphi_{пр.4+j} - \varphi_{пр.тр}$  и поперечного  $\Delta\varphi_{п.4+j} = \varphi_{п.4+j} - \varphi_{п.тр}$  углов наклона, где  $j$  – количество повторений этапа 4 ( $j = 1, 2, 3, \dots$ ). После двух- и трехкратного повторения этап 4 следует прекратить, а текущие углы  $\varphi_{пр.4+j}$ ,  $\varphi_{п.4+j}$  и отклонения  $\Delta\varphi_{пр.4+j}$ ,  $\Delta\varphi_{п.4+j}$  запомнить. Для исключения частотного включения этапа 4 в процессе работы специального оборудования нужно установить пределы изменения углов  $\Delta\varphi_{пр.4+j}$ ,  $\Delta\varphi_{п.4+j}$ , при которых этап 4 не будет включаться. В качестве пределов нечувствительности целесообразно выбрать значения  $\Delta\varphi_{пр.0} = (2-3)\Delta\varphi_{пр.4+j}$ ,  $\Delta\varphi_{п.0} = (2-3)\Delta\varphi_{п.4+j}$ .

Наличие сигналов «Запрет 1–3» указывает оператору на необходимость передислокации на другую позицию и повторного включения в работу СПГ. Выключение СПГ (см. рис. 1) осуществляется путем перевода тумблера на пульте управления 11 в положение выключения, после чего БУ поэтапно в обратном порядке производит нужные манипуляции с гидроцилиндрами опор 1–4 и снимает питание со всех элементов системы.

#### 4. Рекомендации по реализации способа и определению параметров пространственной модели опорной платформы

Для реализации способа автоматического подъема и горизонтирования опорной платформы необходимо решить следующие задачи:

1. Определить динамические свойства опорных агрегатов как объектов управления (ОУ) и организовать управление ими по усилию и положению. Для идентификации ОУ можно использовать ранее разработанный метод [6], а для обеспечения требуемых характеристик переходного процесса – различные цифровые регуляторы [7–12].

2. Организовать поэтапную работу СПГ в автоматическом режиме и определить параметры пространственной модели опорной платформы.

Параметры пространственной модели опорной платформы можно определить следующим образом:

– выполнить точное горизонтирование платформы и запомнить усилия  $p_1 - p_4$ , действующие на гидроцилиндры опор 1–4;

– рассчитать удаления гидроцилиндров опор от поперечной  $L$  и продольной  $Q$  осей платформы (см. рис. 2):  $a = \frac{(p_3 + p_4)A}{p_1 + p_2 + p_3 + p_4}$ ,  $b = \frac{(p_2 + p_3)B}{p_1 + p_2 + p_3 + p_4}$ ,  $a_1 = A - a$ ,  $b_1 = B - b$ . Напри-

мер, для значений  $A = 5300$  мм,  $B = 4870$  мм,  $p_1 = 44,6$  бар,  $p_2 = 46,1$  бар,  $p_3 = 30,5$  бар,  $p_4 = 30,6$  бар получены параметры  $a = 2133,268$  мм,  $b = 2457,457$  мм,  $a_1 = 3166,732$  мм,  $b_1 = 2412,543$  мм. Здесь усилия  $p_1 - p_4$  определены с помощью датчиков давлений (установленных в поршневых полостях гидроцилиндров опор). Следует заметить, что значения давлений в полостях гидроцилиндров сильно зависят от температуры рабочей жидкости. При точном горизонтировании опорной платформы параметры пространственной модели ( $a$ ,  $a_1$ ,  $b$ ,  $b_1$ ) и их проекции на горизонтальную плоскость совпадают.

Используя полученные данные, можно определить высоту ЦМ относительно опорной поверхности. Для этого необходимо наклонить платформу (рис. 3) относительно горизонта на некоторый угол  $\delta\varphi_{\text{пр}}$  или  $\delta\varphi_{\text{п}}$  и по новым значениям усилий  $p_1^* - p_4^*$  рассчитать параметры  $a^*$  или  $b^*$ , которые в этом случае являются проекциями на горизонтальную плоскость. При наклоне платформы базовые расстояния  $A, B$  не изменяются, а проекции ( $a^*, a_1^*, b^*, b_1^*$ ) на горизонтальную плоскость в общем случае изменяются. В результате происходит сближение опор на величину  $\Delta a = a(1 - \cos\varphi_{\text{пр}})$  или  $\Delta b = b(1 - \cos\varphi_{\text{п}})$ , которое на предельных углах наклона платформы  $|\varphi_{\text{пр}}| = 6,392^\circ$ ,  $|\varphi_{\text{п}}| = 6,959^\circ$  составит  $\Delta A = A(1 - \cos\varphi_{\text{пр}}) = 32,948$  мм,  $\Delta B = B(1 - \cos\varphi_{\text{п}}) = 35,877$  мм. Кроме того, при наклоне платформы (когда ЦМ находится выше или ниже опорной плоскости) происходит смещение на величину  $\delta a = a^* - a \cos\varphi_{\text{пр}}$ ,  $\delta b = b^* - b \cos\varphi_{\text{п}}$  координат ЦМ и осей  $L, Q$ .

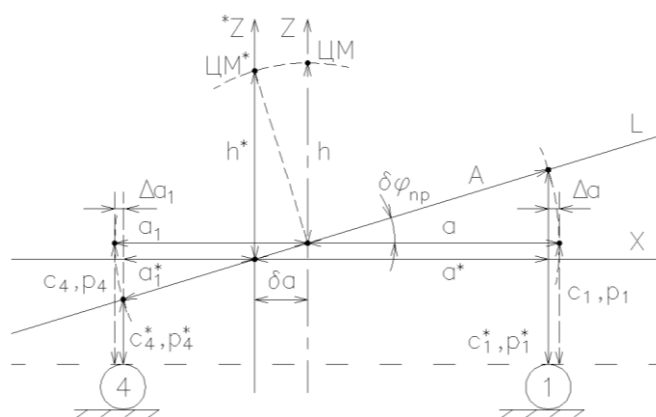


Рис. 3. Определение высоты ЦМ над(под) опорной поверхностью платформы:

1, 4 – опоры;  $c_i, p_i$  – ординаты, усилия опор;  $h$  – высота ЦМ над опорной поверхностью;

$\delta\varphi_{\text{пр}}$  – продольный угол наклона;  $X, Z$  – горизонтальная, вертикальная оси;  $L$  – продольная ось платформы;

$a, a^*, a_1, a_1^*$  – расстояния до и после наклона платформы;  $h, h^*$  – высота ЦМ до и после наклона платформы;

$\delta a, \Delta a$  – смещение координат опор после наклона платформы

Для расчета высоты ЦМ относительно опорной поверхности необходимо использовать выражения  $h = 2\delta a / \sin 2\delta\varphi_{\text{пр}} = 2(a^* - a \cos\varphi_{\text{пр}}) / \sin 2\delta\varphi_{\text{пр}}$ ,  $h = 2\delta b / \sin 2\delta\varphi_{\text{п}} = 2(b^* - b \cos\varphi_{\text{п}}) / \sin 2\delta\varphi_{\text{п}}$ . При положительном значении углов  $\delta\varphi_{\text{пр}}$ ,  $\delta\varphi_{\text{п}}$  и положительном знаке смещения координат  $\delta a, \delta b$  ЦМ находится над опорной поверхностью, а при отрицательном знаке смещения координат – под опорной поверхностью. При отрицательном значении углов  $\delta\varphi_{\text{пр}}$ ,  $\delta\varphi_{\text{п}}$  и отрицательном знаке смещения координат  $\delta a, \delta b$  ЦМ находится над опорной поверхностью, а при положительном знаке смещения координат – под опорной поверхностью. Так, например, для наклоненной платформы ( $A = 5300$  мм,  $B = 4870$  мм,  $a = 2133,268$  мм,  $b = 2457,457$  мм,  $\delta\varphi_{\text{пр}} = 1,54^\circ$ ) получены параметры  $p_1 = 42,4$  бар,  $p_2 = 45,9$  бар,  $p_3 = 29,8$  бар,  $p_4 = 32,1$  бар и определены  $a^* = 2184,221$  мм,  $b^* = 2454,454$  мм,  $\Delta a = 0,771$  мм,  $\delta a = 51,724$  мм,  $h = 1925,303$  мм.

Для качественного управления гидроцилиндрами опор 1–4 нужно знать функциональные зависимости параметров  $a^*, b^*$  от углов наклона  $\delta\varphi_{\text{пр}}$ ,  $\delta\varphi_{\text{п}}$ . Поэтому измерение параметров пространственной модели опорной платформы следует проводить несколько раз (5–10) при различных наклонах платформы в пределах рабочих углов  $\pm\varphi_{\text{пр.1}}, \pm\varphi_{\text{п.1}}$ . Получив функциональную зависимость  $a^* = f(\delta\varphi_{\text{пр}})$ ,  $b^* = f(\delta\varphi_{\text{п}})$ , необходимо рассчитать коэффициенты  $d_1 = a/a_1^*$ ,  $d_2 = b/b_1^*$  и использовать их для модуляции сигналов управления гидроцилиндрами опор 1–4.

В процессе отработки заданий гидроцилиндрами опор при подъеме, горизонтировании и свертывании из-за перекрестных связей между усилиями на опоры могут произойти опасные перекосы платформы, для исключения которых обычно осуществляют синхронизацию движения опор путем задания скорости перемещения подвижной части опоры [1]. Значительно проще эта проблема решается путем применения авторского метода придания системе управления гидроцилиндрами опор 1–4 требуемых фильтрующих свойств [13]. Применение метода позволяет автоматически синхронизировать работу опор 1–4 за счет использования цифровых корректирующих устройств и ограничителей скорости, стабилизирующих работу гидроприводов при отработке ступенчатых сигналов большой амплитуды.

При проектировании гидроприводов важным моментом является согласование соотношения коэффициентов проводимости рабочих окон гидрораспределителей с соотношением эффективных площадей напорных и сливных полостей гидроцилиндров [14].

### **Заключение**

Разработанный способ автоматического подъема и горизонтирования опорной платформы в отличие от существующих аналогов предполагает выполнение за один цикл работы следующих операций: оценки состояния грунта, поднятия платформы, разгрузки элементов ходовой части и горизонтирования опорной платформы. Это позволяет использовать данный способ не только в различных статических, но и динамических системах горизонтирования типа активной подвески, где для исключения продольной и поперечной качки опорной платформы при ее движении одновременно участвуют в работе все опорные агрегаты. Для реализации способа требуются двухкоординатный (крена и тангажа) датчик наклона, сориентированный по продольной и поперечной осям платформы; четыре датчика усилия (или давления рабочей жидкости в поршневой полости при использовании гидравлических опор) и четыре датчика положения опор.

Способ основывается на применении двух контуров управления по усилию и положению, что позволяет оценить состояние грунта и повысить точность работы системы. Данный способ может быть реализован и при наличии более четырех управляемых опорных агрегатов. В работе определены параметры качественной оценки состояния опорной платформы на всех этапах функционирования системы и необходимые корректирующие и запретные сигналы. Применение нового способа исключает отрыв опор от грунта, выдвигание опор на максимальную длину, а также касание колес машины опорной поверхности.

Для исключения опасных перекосов платформы при ее подъеме и опускании применена автоматическая синхронизация движения опор. Даны рекомендации по реализации способа и экспериментальному определению параметров пространственной модели опорной платформы. С целью формирования рекомендаций практического характера в дальнейшем планируется провести исследование гидравлической системы горизонтирования радиолокационной станции, реализующей предложенный способ.

### **Список литературы**

1. Способ ориентации установки несущей грузовой платформы и устройство для его осуществления : пат. 2367762 С1 Российская Федерация, МПК E21B7/02, B66F7/20 / В.В. Артемов, Н.С. Говоров, С.Н. Говоров, Ю.В. Молокин, В.Ф. Хрипченко, Д.А. Чурзин ; заявитель Говоров Н.С. – № 2367762 ; заявл. 17.01.2008 ; опубл. 20.09.2009.
2. Способ автоматического горизонтирования несущей платформы с буровым агрегатом и устройство для его реализации : пат. 2196893 С1 Российская Федерация, МПК E21B44/00, E21B7/02 / И.А. Сидоров, В.Н. Чухлебов ; заявители Сидоров И.А., Чухлебов В.Н. – № 2196893 ; заявл. 24.04.2001 ; опубл. 20.01.2003.
3. Щербаков, В.С. Метод автоматического подъема, выравнивания опорной платформы строительной машины в горизонтальной плоскости и контроля отрыва выносных опор от грунта / В.С. Щербаков, М.С. Корытов, М.Г. Григорьев // Известия высш. учебн. завед. Приволжский регион. Технические науки. – 2010. – № 1(13). – С. 146–154.

4. Активная подвеска : пат. DE 34 08 292 A1 Германия, МКИ В 60 G 17/00 / Schussler Robert, Acker Bernd заявитель Daimler-Benz AG. – № Р 34 08 292 1 ; заявл. 07.03.84 ; опубл. 29.08.85.
5. Подвеска подвижного транспорта : пат. DE 41 23 706 A1 Германия, МКИ В 60 G 17/00, F 15 B 1/00 / Hees Eberhard, Wagner Micha, Zhang Rongqiar, Florchinger Jurg ; заявитель Fichtel & Sachs AG. – № Р 41 23 706 4 ; заявл. 17.07.91 ; опубл. 21.01.93.
6. Стрижнев, А.Г. Метод исследования нелинейных объектов управления, работающих в заданном диапазоне выходных координат / А.Г. Стрижнев, А.А. Шихов, А.Н. Русакович // Информатика. – 2015. – № 3(47). – С. 81–89.
7. Гостев, В.И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления / В.И. Гостев. – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 416 с.
8. Стрижнев, А.Г. Синтез цифрового регулятора, включенного параллельно единичной обратной связи / А.Г. Стрижнев, М.К. Хаджинов, А.Н. Русакович // Доклады БГУИР. – 2014. – № 4(82). – С. 80–86.
9. Стрижнев, А.Г. Автоматизированный синтез цифровых регуляторов на основе дискретных передаточных функций объектов управления / А.Г. Стрижнев, А.Н. Русакович // Информатика. – 2013. – № 3(39). – С. 105–114.
10. Стрижнев, А.Г. Синтез оптимального цифрового регулятора для систем с объектом управления четвертого порядка / А.Г. Стрижнев, Г.В. Ледник // Информатика. – 2013. – № 4(40). – С. 66–73.
11. Стрижнев, А.Г. Синтез цифрового регулятора для объекта управления пятого порядка с применением оптимальных управляющих воздействий / А.Г. Стрижнев, Г.В. Ледник, А.Н. Русакович // Информатика. – 2014. – № 1(41). – С. 59–67.
12. Стрижнев, А.Г. Система автоматического управления переменной структуры с цифровыми регуляторами / А.Г. Стрижнев, А.Н. Русакович // Наука и техника. – 2015. – № 4. – С. 37–44.
13. Стрижнев, А.Г. Метод придания одноконтурной замкнутой системе автоматического управления требуемых фильтрующих свойств / А.Г. Стрижнев // Информатика. – 2016. – № 4(12). – С. 31–37.
14. Гойдо, М.Е. Проектирование объемных гидроприводов / М.Е. Гойдо. – М. : Машиностроение, 2009. – 304 с.

Поступила 30.05.2017

НПООО «ОКБ Техносоюзпроект»,  
Минск, пр. Независимости, 115  
e-mail: strizhnev.ag@gmail.com

**A.G. Stryzhniou**

## **METHOD FOR AUTOMATIC RAISING AND LEVELING OF SUPPORT PLATFORM**

The paper presents the method for automatic raising and leveling of support platform that differ from others in simplicity and versatility. The method includes four phases of raising and leveling when performance capabilities of the system is defined and the soil condition is tested. In addition, the current condition of the system is controlled and corrected with the issuance of control parameters to the control panel. The method can be used not only for static, but also for dynamic leveling systems, such as active suspension. The method assumes identification and dynamics testing of reference units. The synchronization of reference units moving was implemented to avoid dangerous skewing of support platform. The recommendations for the system implementation and experimental model identification of support platform are presented.